



ساخت و ارزیابی خواص نانوکامپوزیت پلی وینیل الکل-هیدروکسی آپاتیت تقویت شده با نانوسلولز

فیبره شده

مصطفی یحوی دیزج

دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

نانو کامپوزیت‌ها به دلیل دارا بودن ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مطلوب و منحصر به فرد توجه زیادی را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده‌اند. امروزه مطالعات گسترده‌ای بر روی ساخت نانوکامپوزیت‌های نوین و کارآمد با استفاده از مواد زیست پایه و زیست تخریب پذیر به عنوان فاز ماتریس و تقویت کننده در حال انجام است. چندسازه‌های هیدروکسی آپاتیت-پلی وینیل الکل به دلیل سازگاری زیستی و زیست فعالی برای استفاده در بدن، به طور گسترده‌ای در کاربردهای پزشکی و به ویژه بازسازی استخوان استفاده می‌شوند. بنابراین، هدف از این پژوهش ساخت هیبرید نانوکامپوزیت پلی-وینیل الکل/ نانوفیبر سلولز/ هیدروکسی آپاتیت و بررسی خواص آن می‌باشد. درصد وزنی هر یک از اجزای سازنده در فرمولاسیون نهایی و نیز زمان تیمار التراسونیک اعمال شده به عنوان عوامل متغیر تأثیرگذار بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مورد بررسی قرار گرفتند. مقاومت به انحلال در آب (درصد کاهش وزن) به عنوان ویژگی فیزیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد با افزایش درصد وزنی پلی وینیل الکل و نانوفیبر سلولز و نیز زمان تیمار اولتراسونیک مقاومت به انحلال در آب (کاهش وزن) کاهش می‌یابد. از طرف دیگر با افزایش مقدار هیدروکسی آپاتیت در فرمولاسیون نهایی، مقاومت به انحلال در آب افزایش یافت. از ریزنگاره‌های میکروسکوپ الکترونی پویشی به منظور درک جزئیات بیشتر از روابط میان خواص فیزیکی و مکانیکی مشاهده شده و ریخت‌شناسی ساختاری استفاده شد.

کلمات کلیدی: هیبرید نانوکامپوزیت، هیدروکسی آپاتیت، پلی وینیل الکل، سلولز نانوفیبره شده



فناوری نانو و تولید مواد در ابعاد نانومتری موضوع تحقیق جذابی است که در دهه‌ی اخیر توجه بسیاری را به خود معطوف داشته است. نانوکامپوزت‌ها مواد مرکبی هستند که لاقلاً یکی از اجزای تشکیل دهنده آن‌ها دارای ابعادی در محدوده نانومتری (۱۰۰-۱ نانومتر) باشد. در واقع این ترکیبات متشکل از ذراتی در مقایسه نانو می‌باشند که در یک ماتریس پراکنده شده‌اند. نانوکامپوزت‌ها را می‌توان ساختارهای جامدی در نظر گرفت که دارای فواصل تکراری در ابعاد نانومتری بین فازهای مختلف به وجود آورنده ترکیب خود است (جعفری، ۱۳۸۶). نانوکامپوزیت‌های پلیمری نیز به عنوان یکی از شاخه‌های این فناوری جدید اهمیت بسیاری یافته‌اند و یکی از زمینه‌های تحقیقی فعال به شمار می‌آیند. علاقه به نانوکامپوزیت‌ها در سراسر جهان سبب شده است که بسیاری از مراکز تحقیقاتی، پژوهشی و شرکت‌ها بر روی توان بالقوه کاربردی این مواد مطالعه نمایند. سلولز درشت مولکولی زیستی با ویژگی بالا تجدیدشوندگی، زیست سازگاری و زیست تخریب پذیری است، ضمن آن‌که به عنوان فراوان‌ترین زیست‌پلیمر موجود بر روی کره‌ی زمین نیز شناخته شده است. در مقایسه با بسیاری از انواع نانو ذرات قابل مقایسه، نانوسلولز آسان‌تر و از منابع ارزان قیمتی به دست می‌آید که فراوانی بالایی دارند. نانوسلولز دارای ضریب لاغری قابل توجه و استحکام ویژه‌ی بسیار بالایی است، همچنین مقاومت شیمیایی و حرارتی مطلوبی دارد و نیز زیست‌سازگاری آن ثابت شده است. ضریب لاغری (نسبت طول به قطر) نانوذرات سلولزی بسته به منبع اولیه مورد استفاده و نیز روش تهیه می‌تواند بسیار متفاوت باشد. و این نسبت گاهاً از حدود ۳۰ تا ۱۵۰ تغییر می‌کند (یوسفی و مشکور، ۱۳۸۷، حاتمی، باریکانی و سیدمحقق، ۱۳۹۰). با توجه به امتیازات مذکور، استفاده از نانوسلولز جهت تقویت ساختار نانوکامپوزیت‌های پلیمری مورد توجه محققین بوده و گزارشات متعددی پیرامون آن منتشر شده است، که در ادامه به گزیده‌ای از آن‌ها اشاره خواهد شد. از سوی دیگر پلی وینیل الکل^۱ (PVA) نیز اگرچه یک پلیمر سنتزی است، لیکن به دلیل زیست‌سازگاری و زیست تخریب پذیری مطلوبی که دارد مورد توجه محققین می‌باشد. به سبب طبیعت قطبی این پلیمر انحلال و فراوش محلول آبی آن امکان پذیر می‌باشد. هیدروکسی آپاتیت، بیوسرامیکی طبیعی است که در بدن موجودات زنده جزء اصلی سازنده‌ی بافت استخوان و دندان محسوب می‌گردد. پیش‌بینی می‌شود هیبرید نانوکامپوزیت مذکور خواص ویژه منحصر به فردی را در نتیجه اختلاط دو نوع سیستم کامپوزیتی ارائه دهد.

جوادپور و همکاران (۱۳۸۶) با بررسی خواص مکانیکی نانو کامپوزیت هیدروکسی آپاتیت- پلی وینیل الکل تهیه شده به روش درجا نشان دادند که برهم‌کنش‌های مولکولی بین گروه‌های ساختاری پلیمر و نانوذرات هیدروکسی آپاتیت در روش درجا منجر به بهبود خواص مکانیکی (استحکام کششی بالاتر و کرنش در شکست بیشتر) در نمونه‌هایی گردد. روحانی و همکاران (۱۳۸۸) با ساخت و ارزیابی ویژگی‌های گرمایی-مکانیکی-دینامیکی (DMTA) نانوجندسازه‌های کریستال سلولز - PVA نشان داد که داده‌های بدست آمده از کالری متری روشی افتراقی (DSC) در رطوبت‌های پایین افزودن نانوکریستال‌ها تاثیر چندانی بر روی دمای انتقال شیشه‌ای^۲ (Tg) ندارد. در حالی که در رطوبت‌های بالا موجب افزایش Tg می‌شود. افزایش Tg به تشکیل لایه‌ای آب در سطح مشترک پرکننده/پلیمر زمینه نسبت داده شد که موجب کاهش اثر پلاستیکی کنندگی مولکول‌های آب بر



روی پلیمر زمینه می‌شود. لو و همکاران (۲۰۰۸) با تهیه و بررسی خواص حرارتی و مکانیکی کامپوزیت میکروفیبریل سلولز- پلی وینیل الکل نشان دادند که مدول ذخیره‌ای در حالت شیشه‌ای با افزایش میکروفیبریل سلولز افزایش می‌یابد. اما افزایش قابل توجه در مدول، در محدوده‌ی بالاتر از دمای انتقال شیشه‌ای قابل تشخیص بود. پایداری حرارتی فیلم‌های کامپوزیت PVA اندکی با افزایش MFC^۱ افزایش یافت و با ترکیب MFC با PVA علاوه بر خواص مکانیکی، مقاومت شیمیایی کامپوزیت حاصل نیز بهبود یافت. منگ و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی ساختار و خواص فیلم‌های نانوکامپوزیتی هیدروکسی آپاتیت-سلولز نشان دادند که نانوذرات هیدروکسی آپاتیت با قطر متوسط ۳۰ نانومتر بطور یکنواخت در ماتریس سلولزی پراکنده شده و به خوبی در بستر سلولز تثبیت شدند. سازگاری مناسب بین هیدروکسی آپاتیت و ماتریس سلولز و نیز اختلاط مطلوب و بهینه‌ی آن‌ها با یکدیگر موجب بهبود پایداری حرارتی و استحکام مکانیکی نانوکامپوزیت‌های مذکور گردید. نتایج نشان می‌دهد که فیلم هیدروکسی آپاتیت-سلولز زیست سازگاری بسیار عالی داشته و لذا و کاربردهای زیستی بالقوه‌ای را می‌توان برای آن متصور بود. آدین، آراکی، و گناه (۲۰۱۱) با بررسی خواص نانوکامپوزیت ویسکرسولز جهت‌دار در ماتریس پلیمری (پلی‌وینیل الکل) به این نتیجه رسیدند که مدول ذخیره‌سازی کامپوزیت با افزایش مقدار ویسکرسولز افزایش می‌یابد که این را می‌توان به تعامل خوب بین PVA و ویسکرسولز از طریق پیوند هیدروژنی و انتقال موثر تنش از PVA به ویسکرسولز نسبت داد.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، سلولز نانوفیبریل‌شده (NFC^۱) چوب سوزنی برگ با دامنه قطری ۱۰ تا ۹۰ نانومتر از شرکت نانونین پلیمر (کشور ایران، شهر ساری)، هیدروکسی آپاتیت با فرمول $Ca_5(Po_4)_3(OH)$ با اندازه ابعادی کمتر از ۲۰۰ نانومتر و همچنین پلی وینیل الکل (PVA) با متوسط وزن مولکولی ۱۸۶۰۰۰-۱۴۶۰۰۰ و درجه هیدرولیز ۹۹ درصد از شرکت سیگماآلد ریچ (کشور آمریکا) تهیه شد. در این تحقیق از سوپر آسیاب دیسکی موجود در شرکت نانونین پلیمر جهت تولید سلولز نانوفیبریل‌شده، همزن مغناطیسی، سانتریفیوژ ساخت شرکت سیگما^۲ کشور آلمان، حمام اولتراسونیک ساخت شرکت اوراندای^۳ انگلستان، آن خلا ساخت شرکت بایندر^۴ آلمان موجود در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان استفاده شد همچنین جهت اندازه‌گیری خواص مکانیکی از دستگاه تست کششی مدل Hounsfield ساخت کشور انگلیس موجود در اداره استاندارد استان گلستان و برای آنالیز میکروسکوپی از میکروسکوب الکترونی روبشی SEM^۵ مدل S-4160 شرکت هیتاچی ژاپن واقع در دانشکده فنی دانشگاه تهران استفاده شد. ابتدا پلی وینیل الکل را با استفاده از ترازو دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین نموده و مقادیر مورد نظر (۲، ۳ و ۴ گرم) درون ۱۰۰ سی سی آب مقطر بر روی همزن مغناطیسی با دور متوسط و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد حل شد. فرایند انحلال تحت شرایط مذکور به مدت ۶۰ دقیقه ادامه یافت تا محلولی

¹ Nano fibrillated cellulose

² Sigma

³ Euronda

⁴ Binder

⁵ Scanning Electron Microscopy



شفاف و کاملاً یکنواخت به دست آمد. به منظور اطمینان از حذف هرگونه ناخالصی احتمالی، محلول حاصل با استفاده از سانتریفیوژ دور بالا (۱۰۰۰۰ دور در دقیقه) و مدت ۱۵ زمان دقیقه خالص سازی گردید. جهت ساخت هیبرید نانوکامپوزیت، از محلول های آماده شده با غلظت های ۲، ۳ و ۴ درصد پلی وینیل الکل استفاده شد، سپس مقدار وزنی نانوسلولز فیبریل شده (۱)، ۳ و ۵ درصد) و هیدروکسی آپاتیت (۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد) بر اساس وزن خشک پلیمر محاسبه و با استفاده از همزن مغناطیسی با دور پائین برای مدت زمان ۳۰ دقیقه مخلوط شدند؛ در نهایت جهت پراکنده سازی هرچه بهتر نانوذرات و یکنواختی بیشتر، سوسپانسیون تهیه شده به مدت ۷، ۱۰ و ۱۳ دقیقه درون حمام اولتراسونیک قرار داده شد (جدول ۱). بلافاصله پس از تیمار صوتی، سوسپانسیون درون قالب های شیشه ای از پیش آماده شده قالب ریزی گردید و قالب ها برای مدت ۲۴ ساعت درون آون خلاء با دمای ۴۰ درجه سانتیگراد منتقل شدند تا ضمن حذف فاز مایع، فیلم های نانوکامپوزیت مورد نظر ساخته شوند. بعد از ۲۴ ساعت ظروف شیشه ای از داخل آون خارج و فیلم های مورد نظر جدا شد. از ترکیب عوامل متغیر و سطوح بر اساس جدول ۱ از هر تیمار ۲ تکرار ساخته شد. نمونه های ساخته شده برای انجام آزمون های مورد نظر طبق استاندارد برش داده شد. مقاومت کششی و مدول کششی (E) نمونه ها تعیین گردید. همچنین در این بررسی از آزمون فاکتوریل شکسته استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار آماری Minitab نسخه ۱۶ در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($P\text{-value} \leq 0/05$) انجام شد.

جدول ۱- درصد های مختلف عوامل متغیر و ترکیب هیبرید نانوکامپوزیت

تیمار	غلظت پلیمر (%)	زمان اولتراسونیک (Min)	هیدروکسی آپاتیت (%)	نانوفیبرسلولز (%)
T ₁	3	10	20	3
T ₂	4	13	15	1
T ₃	2	13	15	5
T ₄	2	13	25	1
T ₅	4	13	15	1
T ₆	3	10	20	3
T ₇	4	7	15	5
T ₈	4	13	25	5
T ₉	3	10	20	3
T ₁₀	3	10	20	3
T ₁₁	4	7	15	5
T ₁₂	4	7	25	1
T ₁₃	2	7	15	1
T ₁₄	2	13	15	5
T ₁₅	2	7	15	1
T ₁₆	4	7	25	1



1	25	13	2	T ₁₇
5	25	13	4	T ₁₈
5	25	7	2	T ₁₉
5	25	7	2	T ₂₀

روش انجام آزمایش فیزیکی

جهت بررسی خواص فیزیکی (مقدار ماده حل شده یا کاهش وزن ۱) نمونه‌ها از استاندارد ASTM D570 استفاده شد. مطابق این استاندارد ابتدا نمونه‌ها در آون با دمای ۶۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و سپس نمونه‌ها از داخل آون خارج شده و جهت خنک سازی در داخل دیسیکاتور قرار داده شدند. نمونه‌ها توزین و سپس برای مدت ۲۴ ساعت به داخل آب منتقل شدند. پس از پایان ۲۴ ساعت نمونه‌ها از آب خارج و داخل آون قرار داده شد تا خشک شوند، مجدداً توزین و وزن خشک نهایی از طریق فرمول زیر محاسبه گردید. مقدار ماده حل شده یا کاهش وزن

$$\text{وزن خشک نهایی} - \text{وزن خشک اولیه} = \frac{\text{مقدار ماده حل شده یا کاهش وزن}}{\text{وزن خشک اولیه}}$$

اندازه گیری ضخامت فیلم‌ها: فیلم‌های به دست آمده پس از خشک شدن از قالب شیشه‌ای جدا شده و ضخامت آنها با ریزسنج با حساسیت ۰/۰۰۱ میلی متر در ۵ نقطه تصادفی از فیلم اندازه گیری شد.

تصاویر SEM^۲

برای بررسی و ریخت‌شناسی نانوکامپوزیت‌های ساخته شده از میکروسکوب الکترونی روبشی SEM مدل S-4160 شرکت هیتاچی ژاپن واقع در آزمایشگاه دانشکده فنی دانشگاه تهران استفاده شد. نمونه‌ها با نیتروژن مایع منجمد شده و سپس شکسته شدند. سطح شکسته نمونه‌ها جهت رسانایی بهتر با لایه نازکی از طلا پوشانده شد. سپس میکروگراف‌های میکروسکوب الکترونی با بهره‌گیری از ولتاژ ۲۰ kv تهیه شدند.

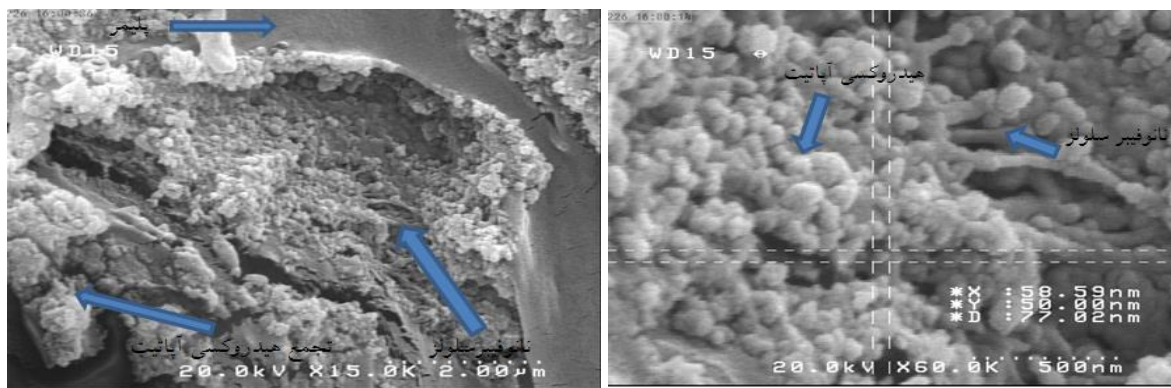
¹ weight loss

² Scanning Electron Microscopy



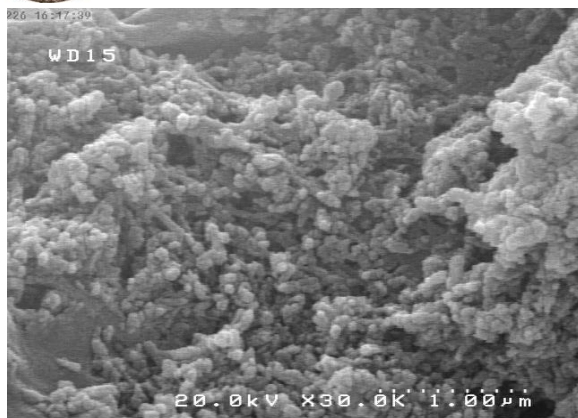
ریخت شناسی نانوچندسازه‌ها

ریخت‌شناسی نانوچندسازه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) صورت گرفت. میکروگراف‌های ۱ تا ۵ توزیع نانوفیبر سلولز و هیدروکسی‌آپاتیت در داخل فاز پلیمری پلی‌وینیل‌الکل را نشان می‌دهد. میکروگراف یک از سطح شکست نمونه‌های آزمونی تیمار شماره T12 توسط دستگاه SEM گرفته شده است، که اختلاط نامناسب ذرات هیدروکسی‌آپاتیت در فرایند ساخت را نشان می‌دهد. این نوع توزیع نامناسب و تجمع ذرات باعث کاهش اتصال میان نانوذرات و فاز پلیمری می‌شود که منجر به کاهش مقاومت‌ها شده است. در تیمار T12 به دلیل اینکه زمان تیمار اولتراسونیک کمتر بود بنابراین فرصت کافی برای پراکنش نانوذرات مهیا نبود در نتیجه باعث تجمع ذرات در بعضی نقاط شده است. طبق آنچه که در مراحل انجام کار مشاهده شد در بعضی از تیمارها با غلظت زیاد پلیمر، حباب‌های هوا فرصت کافی جهت خروج نداشته و در نتیجه حباب‌های هوا در داخل فیلم پلیمری به دام افتاده و بعد از تهیه شدن فیلم‌ها فضای خالی در داخل فیلم‌ها بوجود آمده و باعث شکست در آن نقطه و کاهش مقاومت‌ها شد، این شرایط در شکل ۳ نیز دیده می‌شود که فضاهای خالی موجود در شکل حاکی از هوا محبوس شده در داخل فیلم پلیمری است. تصویر SEM گرفته شده از تیمار ۱۱ پراکنش نسبتاً خوب نانوفیبر سلولز، پلی‌وینیل‌الکل و نانوذرات هیدروکسی‌آپاتیت را نشان می‌دهد که این یکی از دلایل اصلی افزایش مقاومت‌های تیمار ۱۱ می‌باشد (شکل ۴ و ۵).

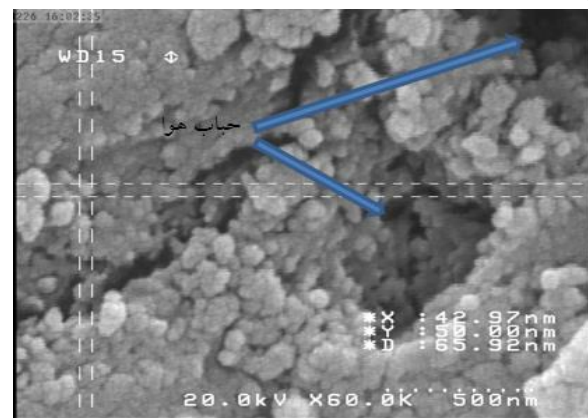


شکل ۲- تصویر SEM از نمونه آزمونی تیمار شماره T4

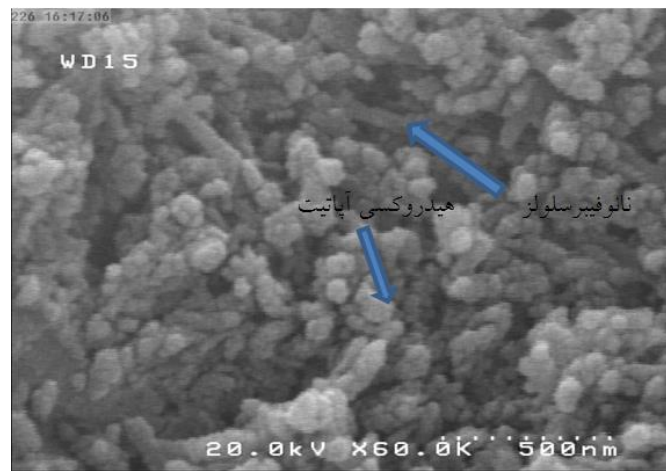
شکل ۱- تصویر SEM از نمونه آزمونی تیمار شماره T12



شکل ۴- تصویر SEM از تیمار آزمونی T11



شکل ۳- تصویر SEM از تیمار آزمونی T4

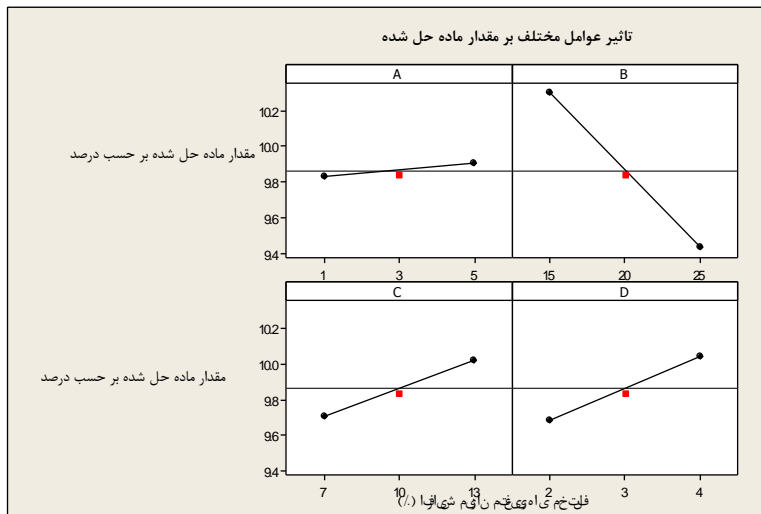


شکل ۵- تصویر SEM از تیمار آزمونی T11

خواص فیزیکی

جذب آب (مقدار ماده حل شده در آب)

آزمایش جذب آب جهت تعیین مقدار آب جذب شده یا مقدار ماده حل شده بر اثر جذب آب پس از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب، استفاده شد. مقادیر مختلف جذب آب نمونه‌ها در جدول ۲ آمده است. بررسی داده‌های حاصل نشان داد که با افزایش نانوفیبر سلولز، زمان اولتراسونیک و غلظت پلیمر مقدار ماده حل شده افزایش می‌یابد اما با افزودن مقدار هیدروکسی آپاتیت مقدار ماده حل شده کاهش می‌یابد (شکل ۶).



شکل ۶- تاثیر عوامل متغیر بر مقدار ماده حل شده در داخل آب

A: نانوفیبر سلولز

C: زمان اولتراسونیک

B: هیدروکسی آپاتیت

D: غلظت پلیمر

جدول ۲- میانگین مقدار ماده حل شده هیبرید نانوکامپوزیت در آب

تیمار	مقدار ماده حل شده (%)	تیمار	مقدار ماده حل شده (%)
T ₁	9.5±0.28	T ₁₁	9.9±0.91
T ₂	10.6±0.21	T ₁₂	9.9±0.91
T ₃	11.9±0.21	T ₁₃	9.4±0.35
T ₄	9.2±0.56	T ₁₄	9.7±0.21
T ₅	10.8±0.21	T ₁₅	9.6±0.35
T ₆	9.5±0.28	T ₁₆	9.9±0.91
T ₇	10.3±0.91	T ₁₇	9.0±0.56
T ₈	9.6±0.49	T ₁₈	9.2±0.49
T ₉	10.4±0.14	T ₁₉	9.2±0.35
T ₁₀	9.9±0.14	T ₂₀	9.2±0.35



ابوالقاسمی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان دادند که با افزودن نانوذرات معدنی مقدار جذب رطوبت کاهش می‌یابد [۱۶]. احتمالاً به دلیل اینکه با افزایش مقدار نانوفیبرسلولز و غلظت پلیمر پیوندهای هیدروژنی بیشتری جهت برقراری اتصال بین آب - نانوفیبرسلولز و آب-پلیمر بوجود می‌آید در نتیجه آب بهتر و بیشتر پیوند برقرار می‌کند و باعث حل شدن مقدار بیشتری از فیلم‌ها می‌شود. ولی این شرایط در مورد افزایش هیدروکسی آپاتیت صادق نمی‌باشد. در این ارتباط معروف و همکاران نیز با بررسی خواص فیزیکوشیمیایی داربست کامپوزیتی کیتوسان-ژلاتین-هیدروکسی آپاتیت نشان دادند که مقدار جذب آب در حضور هیدروکسی آپاتیت کمتر است و با تغییر فاز سرامیکی از HA به بتا تری کلسیم فسفات میزان جذب آب افزایش یافته است [۱۷].

نتیجه گیری

در این تحقیق اثر افزودن نانوفیبرسلولز بعنوان تقویت کننده و غلظت پلیمر بر خواص فیزیکی و ریخت‌شناسی هیبرید نانوکامپوزیت پلی‌وینیل‌الکل/نانوفیبرسلولز/هیدروکسی آپاتیت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش درصد نانوفیبرسلولز، زمان اولتراسونیک و غلظت پلیمر خواص فیزیکی فیلم‌ها افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌توان به طور کلی نتیجه‌گیری کرد که خواص نمونه‌های ساخته شده با ۵ درصد نانوفیبرسلولز، ۱۳ دقیقه زمان اولتراسونیک و غلظت ۴ درصد پلی‌وینیل‌الکل بهترین نمونه است. همچنین باید توجه داشت که مواد اولیه که باعث افزایش مقاومت‌ها شده، زیست‌سازگار با طبیعت و زیست تخریب پذیر می‌باشد و مشکل زیست محیطی ندارد.

مراجع

- جوادی‌پور، جعفر، ملازاده، سحر، خاوندی، علیرضا و رضایی، حمیدرضا. (۱۳۸۶). بررسی خواص مکانیکی نانوکامپوزیت هیدروکسی آپاتیت پلی‌وینیل‌الکل تهیه شده به روش درجا (in-situ). ششمین کنگره سرامیک ایران.
- حاتمی، ابوالفضل، باریکانی، مهدی و سید محقق، سید محمد. (۱۳۹۰). نانوکریستال‌های سلولز؛ بررسی ساختار، خواص و کاربرد. ماهنامه فناوری نانو، شماره ۱۷۰، صص ۲۹-۲۴
- یوسفی، حسین و مشکور، مهدی. (۱۳۸۷). نانوبلور سلولز منبعی تجدید شونده و ارزان برای تولید نانو کامپوزیت. ماهنامه فناوری نانو، شماره ۱۳۱، صص ۳۵۰-۳۴۵
- روحانی، مهدی، ابراهیمی، قنبر، کریمی، علی نقی، دوفرن، آلن و بلقاسم، محمدناصر. (۱۳۸۸). ساخت و ارزیابی ویژگی‌های مکانیکی _دینامیکی و گرمایی نانوجندسازه‌های کریستال سلولز _ PVA. جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی، دوره ۶۲، شماره ۳، صص ۲۵۹ - ۲۴۵



Lu, Jue, Wang, Tao, T. Drzal, Lawrence. (2008). Preparation and properties of micro fibrillated cellulose polyvinyl alcohol composite materials. *Composites*, 746-738

He, Meng, Chang, Chunyu, Peng, Na and Zhang, Lina. (2011). Structure and properties of hydroxyapatite/cellulosenanocomposite films. *Carbohydrate Polymers*, 2518-2512

Udin, ahmadjalal, araki, jun, and gotoh, yasuo. (2011). Characterization of the poly(vinyl alcohol)/cellulose whisker gel spun fibers. *Composites*, 741-747

Abolghasemi Fakhri L. Ghanbarzadeh B. Dehghannia J. and Entezami A. A., The Effects of Montmorillonite and Cellulose Nanocrystals on Physical Properties of Carboxymethyl Cellulose/Polyvinyl Alcohol Blend Films, *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 24, 6, 455-466, 2012.

Maruf N. Karimaghaloo F. Dastjerdi E. Nazarian H. and Nujedehian H. The physicochemical properties of chitosan-gelatin-hydroxyapatite composite scaffolds prepared by freeze drying, *Dental Journal*, 29, 385-393, 2011.

Fabrication and characterization of polyvinyl alcohol-hydroxyapatite nanocomposites reinforced by Nano fibrillated cellulose

Yahyavi, M.

Ph.D. Candidate Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Yahyavi@gau.ac.ir

Abstract



Due to having desirable and unique physical and mechanical properties, nanocomposite materials have attracted much attention recently. Today, many studies have been focused on fabricating high performance new nanocomposites based on biobased and biodegradable materials as the matrix and reinforcement. Because of biocompatibility, biofunctionality, and safety for using in the body, hydroxyapatite-polyvinyl alcohol composites are vastly used in medical applications, specially in the bone tissue regeneration. So, the aim of this research is fabrication and investigation on properties of a new generation of polymeric nanocomposites consisting of hydroxyapatite nanoparticles and cellulose nanofibers dispersed in a polyvinyl alcohol matrix. The percentage by weight of each component in the final formulation and also the time of applied ultrasonic treatments, were selected to study as the effective variable factors on the physical properties. Resistance to water dissolution, as the physical property were evaluated. The results show that by increasing the percentage by weight of PVA and cellulose nanofibers and also the time of ultrasonic treatment, the resistance to water dissolution and weight loss decreased. On the other hand, with increasing the amount of hydroxyapatite nanoparticles in the final formulation, resistance to water solubility were increased. Scanning electron microscopy (SEM) micrographs were used to find more details on relationships among observed physical and mechanical properties and the structural morphology

Key words: Hybrid nanocomposite, Poly (vinyl alcohol), Hydroxyapatite, Nano fibrillated cellulose.